

# EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 10270246  
 PUBLICATION DATE : 09-10-98

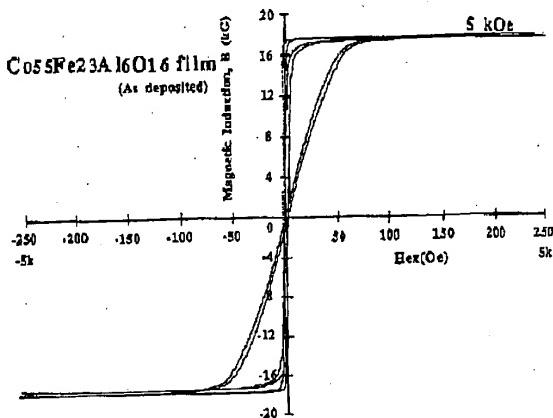
APPLICATION DATE : 22-03-97  
 APPLICATION NUMBER : 09108030

APPLICANT : RES INST ELECTRIC MAGNETIC ALLOYS;

INVENTOR : MASUMOTO TAKESHI;

INT.CL. : H01F 10/16 G11B 5/127 G11B 5/187  
 G11B 5/31

TITLE : MAGNETIC THIN FILM



**ABSTRACT :** PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a soft magnetic thin film with an electrical resistance and an anisotropic magnetic field, which show superior soft magnetic characteristics, even in high frequency region, and a large saturated magnetization.

SOLUTION: This magnetic thin film is formulated with a general formula  $\text{Co}_{100-X,Y,Z}\text{Fe}_X\text{M}_Y\text{O}_Z$  (atom%), and atomic ratios are  $10 < X < 50$ ,  $2 < Y < 10$ ,  $6 < Z < 25$  and  $15 < X+Y+Z < 65$ , respectively. M is Al, Zr, Ti, Hf, Mg, Be or at least one kind of rare-earth elements whose heat of oxide of formation is -1000 kJ or above, and an anisotropic magnetic field is 20 Oe or above, an electrical resistivity value is  $50 \mu\Omega\text{cm}$  or above, and saturation magnetic flux density is 16 kG or above in it.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-270246

(43)公開日 平成10年(1998)10月9日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 01 F 10/16

G 11 B 5/127

5/187

5/31

識別記号

F I

H 01 F 10/16

G 11 B 5/127

F

5/187

F

5/31

C

審査請求 未請求 請求項の数 7 書面 (全 13 頁)

(21)出願番号

特願平9-108030

(22)出願日

平成9年(1997)3月22日

(71)出願人 000173795

財団法人電気磁気材料研究所

宮城県仙台市太白区八木山南2丁目1-1

(72)発明者 大沼 繁弘

宮城県仙台市太白区人来田1丁目27-27

(72)発明者 増本 健

宮城県仙台市青葉区上杉3丁目8-22

(54)【発明の名称】 磁性薄膜

(57)【要約】

【目的】本発明は、異方性磁界が200 Oe以上、電気比抵抗値が $50 \mu\Omega\text{cm}$ 以上および飽和磁束密度が16 kG以上を有する高周波域で優れた軟磁性を示す磁性膜を提供することを目的とする。

【構成】一般式 $\text{Co}_{100-x-y-z}\text{Fe}_x\text{MyO}_z$  (原子%)で示され、それぞれの原子比率が

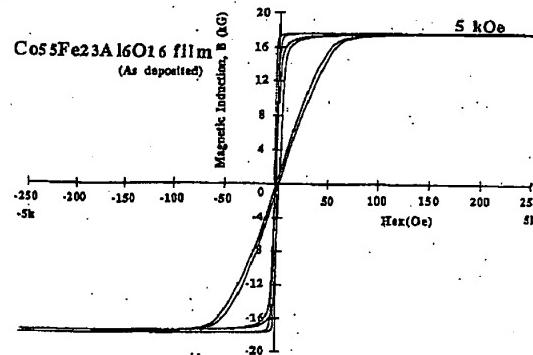
$1.0 < x < 5.0$

$2 < y < 1.0$

$6 < z < 2.5$

$1.5 < x + y + z < 6.5$

であり、Mは酸化物の生成熱が-1000 kJ以上のA<sub>1</sub>, Zr, Ti, Hf, Mg, Be, あるいは希土類元素の中の1種または2種以上の元素であり、異方性磁界が200 Oe以上、電気比抵抗値が $50 \mu\Omega\text{cm}$ 以上および飽和磁束密度が16 kG以上を有することを特徴とする磁性薄膜。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】一般式  $\text{Co}_{100-x-y-z}\text{Fe}_x\text{M}_y\text{O}_z$  (原子%) で示され、それぞれの原子比率が  
 $10 < X < 50$   
 $2 < Y < 10$   
 $6 < Z < 25$   
 $15 < X + Y + Z < 65$

であり、Mは酸化物の生成熱が -1000 kJ 以上の A<sub>1</sub>, Zr, Ti, Hf, Mg, Be, および希土類元素の中の 1 種または 2 種以上の元素であり、異方性磁界が 200 e 以上、電気比抵抗値が 50  $\mu\Omega\text{cm}$  以上および飽和磁束密度が 16 kG 以上を有することを特徴とする磁性薄膜。

【請求項2】一般式  $\text{Co}_{100-x-y-z}\text{Fe}_x\text{Al}_y\text{O}_z$  (原子%) で示され、それぞれの原子比率が  
 $10 < X < 50$   
 $2 < Y < 10$   
 $6 < Z < 25$   
 $15 < X + Y + Z < 65$

であり、異方性磁界が 200 e 以上、電気比抵抗値が 50  $\mu\Omega\text{cm}$  以上および飽和磁束密度が 16 kG 以上を有することを特徴とする磁性薄膜。

【請求項3】請求項1 および 2 に記載の磁性薄膜とセラミックス薄膜とが交互に積層した多層構造を有することを特徴とする磁性薄膜。

【請求項4】請求項1 および 2 に記載の磁性薄膜において、膜中の酸素濃度の 40% 未満を窒素原子で置換した、異方性磁界が 200 e 以上、電気比抵抗値が 50  $\mu\Omega\text{cm}$  以上および飽和磁束密度が 16 kG 以上を有することを特徴とする磁性薄膜。

【請求項5】請求項1ないし4のいずれか1項に記載の磁性薄膜からなる高密度磁気記録ヘッド。

【請求項6】請求項1ないし4のいずれか1項に記載の磁性薄膜からなる 1 MHz 以上で動作するインダクタ。

【請求項7】請求項1ないし4のいずれか1項に記載の磁性薄膜からなる 1 MHz 以上で動作するトランジスタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は大きな飽和磁化、一軸磁気異方性および電気比抵抗とを有する、高周波帯域で優れた軟磁性を示す膜に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年のコンピュータの高速化や高密度記録化また移動体通信の発展に伴い、電子機器の動作周波数を高める努力や、それに伴う小型化的試みが盛んに行われている。この傾向はそれらの中で用いられる磁気デバイスにも及んでおり、そのための磁性材料の開発が検討されているが、充分な特性を有するものはまだ見いだされていない。特に、近未来の超高密度記録のハードディスクドライブ装置の記録用ヘッド材料で大きな問題にな

ることが考えられる。

【0003】一般に、1 MHz 以上の高周波帯域になると、金属系の磁性材料は電気抵抗が小さいために渦電流が大きくなり、高周波帯域での使用が困難になる。そのため、従来から高周波軟磁性材料としては軟磁性フェライト等で代表される酸化物の磁性材料が用いられてきた。フェライトは材料自体の電気抵抗が極めて大きいため渦電流による損失が小さい。ただし、フェライトは飽和磁化が小さいため、透磁率の共鳴周波数がそれほど高くなく、かつ低周波帯域で異常共鳴なども観察される。また透磁率の大きさもそれほど大きくないために、その用途には多くの制限があった。そして磁気デバイスのマイクロ化においてフェライトの最も大きな、そして致命的な欠点は薄膜化が現在、全く出来ないことである。

【0004】飽和磁化 (Bs) が大きく、かつ高周波帯域まで優れた透磁率の周波数依存性を示す磁性材料に対する期待は、特に、高密度記録用の磁気ヘッドの分野や高周波帯域でのマイクロトランジストの領域で大きく、これまでに数多くの磁性材料、例えば、Fe-Hf-C (長谷川、斎藤: 電子情報通信学会技術研究報告: MR 89-12 (1989)) そして Fe-Ta-N (名古、榎間、井原: 日本応用磁気学会誌、15、365 (1991)) などの Fe 系微結晶軟磁性膜が提案されてきた。これらの材料は Bs が大きいため、例えば、記録用磁気ヘッド等においてオーバーライト特性の面で優れており、現状での書き込み速度には十分対応できている。しかし、年 40% の割合で記録密度が上昇しているハードディスクの昨今、数年後のさらなる高い記録密度の記録システムでは、記録密度の上昇に伴い、ハードディスクの速度は 100 MHz 近傍になるために、現状の軟磁性材料では対応できなくなることが考えられる。そのため飽和磁化が大きいこととともに、さらに高い周波帯域まで優れた透磁率の周波数依存性を示す磁性材料が期待されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ハードディスクの記録容量の高密度化や、高周波で動作するマイクロ磁気デバイスへの強い要望は、今後、益々増大していくものと考えられる。例えば、大容量、超高速磁気記録システムを磁性材料の点から考えると、記録媒体 (磁気ディスク) としては大きな保磁力を有する磁性膜、記録用ヘッドとしては大きな飽和磁化を有する軟磁性体、そして再生用ヘッドとしては応答速度の良い軟磁性材料が求められる。これらの問題の中で、磁気ディスクは 2000 Oe 以上の大保磁力を有する Co-Pt-Cr 膜で、再生ヘッドはスピナルブやトンネル接合タイプの MR ヘッドの開発などでクリヤー出来的見通しがでてきた。しかし、記録ヘッド用軟磁性膜についてはまだ適切な材料が見いだされていない。同様の軟磁性材料に関する問題は高周波帯域で動作するマイクロトランジストやインダクタなどの分野

でも持ち上がりつつある。

【0006】近年、高密度記録用磁気ヘッド材料として大きな飽和磁化を有するFe系軟磁性微結晶膜が開発され、記録ヘッド用軟磁性膜に関する問題は既に解決されたかに見えた。確かに現有のFe系軟磁性微結晶膜はその大きなBsが有するが故に、大きな保磁力を有する記録媒体に対しても優れたオーバーライト特性を示す。しかし、さらに記録密度が高くなると、透磁率の共鳴周波数が100MHz付近の現在の磁性材料では、その透磁率の周波数特性が問題となることが考えられる。現在でも、大型のハードデスクドライブシステムでの外周のスピードは100MHzになんなんとしている。従って、次世代の超高密度の小型ハードデスクシステムの磁気記録用ヘッド材料に求められる特性は、従来の大きな飽和磁化の他に、100MHz付近まで優れた透磁率の周波数依存性を示すことである。そのため、軟磁性材料には大きな飽和磁化の他に、高い電気抵抗と大きな異方性磁界とが求められる。先に述べたFe系高Bs軟磁性微結晶膜は、一軸磁気異方性がほとんど付与されていないために $\mu'$ は大きいが、高周波帯域での $\mu-f$ 特性は良くなく、次世代の超高密度磁気記録システムには耐えられなくなることが容易に推察できる。以上のことから、電気比抵抗、異方性磁界、飽和磁化とが大きく、単層膜でも高周波まで良好な透磁率の周波数依存性を示す軟磁性薄膜材料が求められている。

【0007】本発明は上記の点に鑑みてなされたもので、高周波域まで優れた軟磁気特性を示す電気抵抗、異方性磁界および飽和磁化の大きな軟磁性薄膜を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の事情を鑑みて鋭意努力した結果、僅かな酸素を含むCo-Fe-Al系膜に、大きな飽和磁化、電気抵抗そして異方性磁界を併せ持ち、かつ単層膜でも良好な高周波軟磁気特性を示す膜が得られることを見いだし、本発明に至ったものである。

【0009】第1の発明は、一般式Co

$_{100-x-y-z} Fe_x Al_y O_z$  (原子%) で示され、それぞれの原子比率が

$$10 < X < 50$$

$$2 < Y < 10$$

$$6 < Z < 25$$

$$15 < X+Y+Z < 65$$

であり、Mは酸化物の生成熱が-1000kJ以上のAl, Zr, Ti, Hf, Mg, Be、希土類元素の中の1種または2種以上の元素であり、異方性磁界が200e以上、電気比抵抗値が50μΩcm以上および飽和磁束密度が16kG以上を有することを特徴とする磁性薄膜。

【0010】第2の発明は、一般式Co

$_{100-x-y-z} Fe_x Al_y O_z$  (原子%) で示され、それぞれの原子比率が

$$10 < X < 50$$

$$2 < Y < 10$$

$$6 < Z < 25$$

$$15 < X+Y+Z < 65$$

であり、異方性磁界が200e以上、電気比抵抗値が50μΩcm以上および飽和磁束密度が16kG以上を有することを特徴とする磁性薄膜。

【0011】第3の発明は、第1発明および第2発明に記載の磁性薄膜とセラミックス薄膜とを交互に積層した多層構造を有することを特徴とする磁性薄膜。

【0012】第4の発明は、第1発明および第2発明に記載の磁性薄膜において、膜中の酸素濃度の40%未満を窒素原子で置換した、異方性磁界が300e以上、電気比抵抗値が50μΩcm以上および飽和磁束密度が15kG以上を有することを特徴とする磁性薄膜。

【0013】第5の発明は、第1発明ないし第4発明のいずれか1項に記載の磁性薄膜からなる高密度磁気記録ヘッド。

【0014】第6の発明は、第1発明ないし第4発明のいずれか1項に記載の磁性薄膜からなる1MHz以上で動作するインダクタ。

【0015】第7の発明は、第1発明ないし第4発明のいずれか1項に記載の磁性薄膜からなる1MHz以上で動作するトランジスタ。

【0016】

【作用】

【0017】本発明の磁性膜が16kG以上の高飽和磁束密度(Bs)を有するためには磁性原子としてCo単体だけではなく、10%以上のFeで置換した合金系である必要がある。ただし、Fe濃度が50%以上の膜では、Bsは大きくなるが、Hkが200e未満になり、最終的には磁気的等方膜になってしまふ。また軟磁性を実現するためには、膜は20nm以下の粒径の結晶粒から構成されていることが必要であり、そのためには酸化物の生成熱が約1000kJ以上のM元素(M:Al, Zr, Hf, Mg, Beあるいは希土類元素)を2%以上含む必要がある。ただし、M元素濃度が10%以上になるとBsが16kG以下になってしまふ。

【0018】本発明膜には、16kG以上のBsを示す膜で、200μΩcm以上の大きな電気比抵抗を示す膜は得られなかった。しかし、磁気デバイスを作製するときに必要とされる膜厚が1~2μm以下であるために、渦電流損失はそれほど大きくならない。ただし、それを補う意味でも透磁率の共鳴周波数を1GHz付近まで高

める必要があり、そのためには高いB<sub>s</sub>と共に、H<sub>k</sub>が200eであることが望ましい。

#### 【0019】

【実施例】以下、従来のFe系微結晶膜やナノグラニューラー構造軟磁性膜の結果などとの比較を加えながら、本発明の実施例を説明する。

#### 【0020】本発明を具体的な実施例を用いてさらに詳しおく説明する。

スパッタガス圧	6 × 10 <sup>-3</sup> Torr
投入電力	200W
基板温度	20°C
基板	Coming #7059 (厚さ 0.5mm)
膜厚	2.0 ~ 3.0 μm
酸素流量比	0.0 ~ 1.0%
印加磁界	1300e (一対の永久磁石)

【0022】得られた試料の直流磁気特性を試料振動型磁力計により測定した。結果を図1に示す。図中の2つのデータは、成膜時の磁界の印加方向に平行(//)、垂直(⊥)に励磁して測定した結果を表わしている。試料は、成膜時に印加した磁界方向と平行な一軸磁気異方性を有しており、その異方性磁界の大きさは約450eと十分に大きかった。また、垂直方向の履歴曲線(B-Hヒステリシスループ)の結果から明らかなように、ループの直進性が良く、膜の異方性分散が小さいことが推察される。得られた膜の最も大きな特徴は飽和磁束密度(B<sub>s</sub>)の大きさであり、その値は17.8kGと非常に大きいものであった。この膜の保磁力(H<sub>c</sub>)は垂直、平行共に約1.00eと小さく、軟磁性膜であることを示している。直流4端子法により測定したこの膜の電気比抵抗(p)は、約100μΩcmとほぼアモルファス膜と同程度の値を示す。また図2にはバラレルライン法で測定した本発明膜の透磁率の周波数依存性を示す。破線はランダウ、リフシツの運動方程式を基本とした理論式(神保、綱島、内山:日本応用磁気学会誌、14、289(1990))である。17kG以上の大いなB<sub>s</sub>を持っているにもかかわらず、透磁率は400MHzまで良好な周波数依存性を示し、理論式の結果ともほぼ一致している。

#### 【0023】

【実施例-2】実施例-1と同一条件で、Co-F<sub>e</sub>ターゲットにY<sub>2</sub>O<sub>3</sub>チップを貼り付けた複合ターゲットを用いてCo-F<sub>e</sub>-Y-O膜を作製した。得られた試料について直流磁気特性と交流磁気特性を測定した。図3には得られた膜の透磁率の周波数依存性の一例を示す。また図中には直流磁気特性の測定結果も示す。図から明らかなように、得られた膜の透磁率はCo-F<sub>e</sub>-A1-O膜の結果と同様に、約300の値を示し、かつ良好な周波数依存性を示す。これとほぼ同様の結果が本発明の他の組成系の膜でも観察された。

#### 【0024】

【実施例-3】従来の高電気抵抗軟磁性膜では、M原子

\*く説明する。

【実施例-1】RFマグнетロンスパッタ装置を用いて(Co, Fe, s, o, A1, O)(原子%)ターゲットを(Ar+O<sub>2</sub>)混合ガス雰囲気中での反応スパッタ法によりCo-F<sub>e</sub>-A1-O薄膜を作製した。成膜条件は以下に設定した。

#### 【0021】

スパッタガス圧	6 × 10 <sup>-3</sup> Torr
投入電力	200W
基板温度	20°C
基板	Coming #7059 (厚さ 0.5mm)
膜厚	2.0 ~ 3.0 μm
酸素流量比	0.0 ~ 1.0%
印加磁界	1300e (一対の永久磁石)

と酸素原子は優先的に結合して粒界を形成し、膜の磁気特性特性を大きな影響を与えることが知られている。本発明膜の磁気特性に及ぼすM<sub>y</sub>O<sub>z</sub>の濃度の効果を明らかにするために、実施例-1と同一条件で、CoとFeとの比を一定として、N濃度のみを0から15%まで変化させた合金ターゲットを用いてCo-F<sub>e</sub>-A1-O膜を作製した。直流磁気特性の測定結果から求めたB<sub>s</sub>の結果を図4に示す。分析の結果、得られた膜中のA1と酸素の濃度比はほぼ1:3であり、図面の中では(A1, 2s, O, 7s)として表示した。膜中の(A1, 2s, O, 7s)濃度(y+z)が増加しても、Co-F<sub>e</sub>-A1-O膜のB<sub>s</sub>の減少は(A1-O)原子による単純希釈として計算した場合のそれと比較すると小さい。本発明膜では生成熱の大きなNが選択的に酸素と結合し、A1-O化合物を作るためCo-F<sub>e</sub>は遊離し、Co-F<sub>e</sub>濃度が変わっても大きな磁気モーメントを維持しているものと推察される。このように本発明膜はA1と酸素が膜中に共存することによってA1とCo-F<sub>e</sub>との合金化を妨げ、大きなB<sub>s</sub>を広範囲の(A1-O)濃度で実現している。

【0025】次に、これらの膜の電気比抵抗(p)をA1濃度で整理した結果を図5に示す。pの増加率は膜の組成系でそれほど大きな差異は見られない。本発明膜のpは(A1-O)濃度の増加と共にほぼ直線的に増大し、2.5%(A1-O)以上では100μΩcmを越える。このような大きなpには本発明膜のA1とOとが粒界を形成することと、膜の結晶粒を小さくすることの2つが寄与しているものと推察される。

【0026】またCo-F<sub>e</sub>-A1-O膜のH<sub>c</sub>は図6に示す。図から明らかなように、(A1-O)濃度の増加と共に、H<sub>c</sub>は著しく小さくなり、広い(A1-O)濃度範囲で20e以下の値を示す。このように、本発明膜はA1と酸素が膜中に共存することによって良好な軟磁性が実現しているものと推察される。なお、その起源については構造の項で考察する。

【0027】本発明膜の異方性磁界(H<sub>k</sub>)を(A1-

O) 濃度で整理した結果を図7に示す。軟磁性を示す範囲での本発明膜のHkは(A1-O)濃度の増加と共に増大し、例えば、20%以上の(A1-O)を含む膜では約30Oe以上のHkが実現する。

【0028】図4、5、7の結果から明らかのように、本発明膜ではBs、p、Hkの値を膜中の(A1-O)濃度を選ぶことにより、ほぼ一義的に決めることが出来る。

【0029】本発明膜における特性のA1およびO濃度の影響を明らかにするために、膜の構造をX線回折法により調べた。なお、A1とOのそれぞれの原子の影響を明らかにする目的で、膜組成の表現を(Co., Fe.3)100-, A1, と(Co., Fe.3)100-y-z A1y Ozで示す。図8には比較例の(Co., Fe.3)100-, A1, 膜(a)と本発明膜である(Co., Fe.3)100-y-z A1y Oz膜(b)の回折图形を示す。(Co., Fe.3)100-, A1, 膜は基本的にBCC構造を有し、A1濃度を変えても回折图形にはそれほど大きな変化が見られない。一方、本発明膜では(A1-O)濃度によって結晶配向や線幅に大きな変化が観察される。すなわち、A1濃度の増加と共に(110)面が優先配向になり、かつ線幅が広くなる。

【0030】これらの回折图形の結果を結晶粒径(D)と面間隔(d)で整理したのが図9、10である。なお、DはSchererの式を用いて計算した値である(カリマー(松村源太郎訳): X線回折要論、(株)アグネ、1980)。Co-Fe-A1膜のDは、A1濃

度の増加と共にしたいに増加するのに対して、酸素を含む本発明膜のDはCo-Fe-A1膜のそれと比較すると全体的に小さく、かつA1濃度の増加と共に減少する傾向を示し、10%A1以上の膜で急激に小さくなり、その値は50Å以下になる(図9)。このような小さな粒径を持つことが、Herzerの微結晶モデル(G. Herzer: IEEE Trans. on Mag. 26 1397 (1990))を満足し、軟磁性を示す主な原因になっているものと考えられる。またCo-Feからなる結晶粒がBCC構造を有しているために、膜の容易磁化方向が面内に存在するようになり、軟磁性化に寄与しているものと推察できる。このような膜構造はA1の選択酸化に起因しているものと考えられる。すなわち、本発明でも成膜中にA1がスパッタガス中の酸素と優先的に結び付き膜中の粒界を形成し、かつA1濃度の増加と共に粒界が多くなるために結晶粒が微細化するものと考えられる。この考えは図10によって支持される。本発明膜の面間隔dはA1濃度が増加してもほとんど変化しないのに対して、Co-Fe-A1のそれはN濃度の増加と共に増大する。この増加はA1がCo-Fe格子間に入り、格子間距離を膨張させるためと考えられる。一方、本発明膜ではA1濃度が増大しても酸素と結び付いて粒界を形成し、Co-Fe格子間にはA1原子が入らないため、格子面間隔は変化しないものと考えられる。

【0031】

【表1】

組成(原子%)	Bs (kG)	p (μΩcm)	Hk (Oe)	Hc (Oe)
Co <sub>55</sub> Fe <sub>23</sub> Al <sub>6</sub> O <sub>16</sub>	18	98	45	1.2
Co <sub>53</sub> Fe <sub>22</sub> Al <sub>6</sub> O <sub>19</sub>	17	120	52	1.0
Co <sub>50</sub> Fe <sub>32</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>14</sub>	19	76	42	2.4
Co <sub>59</sub> Fe <sub>10</sub> Al <sub>9</sub> O <sub>22</sub>	16	180	63	2.1
Co <sub>54</sub> Fe <sub>24</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>14</sub> N <sub>3</sub>	18	88	44	1.8
Co <sub>53</sub> Fe <sub>22</sub> Zr <sub>7</sub> O <sub>18</sub>	18	100	38	1.6
Co <sub>58</sub> Fe <sub>24</sub> Hf <sub>5</sub> O <sub>13</sub>	19	62	36	2.2
Co <sub>56</sub> Fe <sub>30</sub> Mg <sub>4</sub> O <sub>10</sub>	20	58	28	2.3
Co <sub>52</sub> Fe <sub>22</sub> Y <sub>7</sub> O <sub>19</sub>	17	136	60	1.2
Co <sub>60</sub> Fe <sub>27</sub> Dy <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	20	55	26	2.8
Co <sub>57</sub> Fe <sub>22</sub> Mg <sub>5</sub> O <sub>12</sub> N <sub>4</sub>	18	74	48	3.2
Co <sub>62</sub> Fe <sub>25</sub> Y <sub>3</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	19	69	39	2.1
Co <sub>53</sub> Fe <sub>23</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>18</sub>	19	62	35	2.6
Co <sub>60</sub> Fe <sub>25</sub> Be <sub>4</sub> O <sub>11</sub>	20	54	23	3.6
Co <sub>63</sub> Fe <sub>15</sub> Sm <sub>6</sub> O <sub>16</sub>	18	110	47	2.0
Co <sub>58</sub> Fe <sub>28</sub> Y <sub>3</sub> O <sub>11</sub> /SiO <sub>2</sub>	16	220	32	0.3
Co <sub>55</sub> Fe <sub>23</sub> Al <sub>6</sub> O <sub>16</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16	180	47	0.4
(比較) Co <sub>50</sub> Fe <sub>12</sub> Al <sub>12</sub> O <sub>26</sub>	13	750	78	0.8
(比較) Fe-Hf-O	17	62	3	0.1
(比較) Fe-Ta-N	17	58	2	0.1
(比較) Co-Nb-Zr(Amo.)	10	110	30	0.2
(比較) Fe-Si-N	18	80	1	0.8

【0032】表1はこれまでの実施例とほぼ同様な方法で作製した本発明の請求範囲の代表的な薄膜の代表例の測定結果を、Bs, p, Hk, Hcで整理したものである。また比較例として従来の軟磁性膜の結果を示す。従来の膜でもFe-Ta-N膜のようないくつかの膜は17 kG以上の大さなBsを示すが、Hkは著しく小さい。一方、Co系高電気抵抗膜は大きなHkとpを示すが、Bsは15 kG以下である。これに対して本発明膜のいずれも適度な大きさのHkとpを有し、かつBs > 16 kGが実現している。このように、酸化物の生成熱の大きな元素を僅かに含むCo-Fe-M-O合金系膜

が軟磁性で、適度の大きさのHkとpを有し、かつ大きなBsを有する磁性材料であることが確認された。

【0033】既に述べたように、高周波帯域での透磁率の劣化をもたらす自然共鳴周波数(f<sub>r</sub>)はHkとBsとの積に比例する。図11には本発明膜のHk, pとBsから計算で求めたμ-f特性(a)と、μ-f特性から求めたQ-f特性(b)(Q:性能指数)の結果を示す。比較例として既存の高Bs軟磁性膜として良く知られているFe-Ta-N膜の結果を併記した。図11(a)に示すように、Fe-Ta-N膜はHkが小さいため、μ'は大きいが、それ以上にμ''も大きくなる

ため、100MHz付近で共鳴を起こしてしまう。一方、本発明膜は大きなBsとHkとが相乗して、 $\mu'$ はほぼ1GHz付近まで一定の値を維持する。これらの膜を性能指数で整理した結果が図11(b)である。図から明らかのように、既知のFe-Ta-N膜と比較して、本発明膜が約1桁の大きなQと高い共鳴周波数を有している。

## 【0034】

【実施例-4】さらなる高い周波数帯域まで優れた透磁率の周波数依存性を示す膜を得るために、実施例-1と同一条件で本発明膜と $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{AlN}$ との積層膜を作製した。磁性膜の1層当たりの膜厚を0.5μm以下とし、磁性層とセラミックス層との層厚比を4対1以下になるようにした。磁化の大きさが18kG以上の磁性膜で構成した多層膜では、多層膜化しても膜全体の磁化の大きさは15kG以下にはならないし、Hkもほとんど変化しない。多層膜化した効果は渦電流損失の低減化に現われ、透磁率の共鳴周波数が2GHz付近まで高くなる。多層膜化のもう一つの効果は磁性層間の静磁結合の出現である。この結合力によって軟磁気特性はさらに改善され、かつ異方性分散が極めて小さくなる。以上のように、本発明膜を磁性膜として採用した多層膜では、磁性膜のBsが大きいために、それほどBsを減少させること無しに、優れた透磁率の周波数依存性を示す膜を得ることが出来る。なお、表1には多層膜化した $\text{Co}-\text{Fe}-\text{A}-\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜および $\text{Co}-\text{Fe}-\text{Y}-\text{O}/\text{SiO}_2$ 膜の結果を示している。

【0035】尚、本発明の磁性薄膜 $\text{Co}_{100-x-y}-z\text{Fe}_x\text{MyO}_z$ は、上記のように高周波帯域で優れた軟磁気特性を示すが、これにV, Nb, Ta, Cr, Mo, Mn, Ni, Cu, Si, Ge, B, Ca等の1種または2種以上の元素を、高周波特性を向上する目的で添加することは本発明の技術的思想の範疇内にあり、添加しても良いことは当然である。

## 【0036】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、異方性磁界、飽和磁化そして電気比抵抗が共に大きい軟磁性薄膜で、高周波特性の優れた薄膜材料を提供することが出来る。本発明の薄膜は、飽和磁化が従来のFe基微結晶膜のそれに勝とも劣らない大きさと、適度の大きさの異方性磁界を有するために、共鳴周波数が高く、また電気比抵抗値も非晶質軟磁性材料と同程度の大きさであ

るため、渦電流損失が小さく、高い周波数まで、良好な透磁率の周波数特性を維持することが出来る。さらに本発明膜は、大きな飽和磁化と透磁率の優れた周波数依存性を有しているために、記録用磁気ヘッドのコア材として用いた場合には、大きな保磁力を有する超高記録密度の記録媒体でも、十分にオーバーライトすることが出来るものと考えられたために、その工業的意義は大きい。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{0.2} \text{Al}_8$  ターゲットを10用いて作製した $\text{Co}_{0.5} \text{Fe}_{2.5} \text{Al}_{1.6} \text{O}_{1.8}$  膜のB-Hヒステリシスループ。

【図2】 $\text{Co}_{0.5} \text{Fe}_{2.5} \text{Al}_{1.6} \text{O}_{1.8}$  膜の透磁率の周波数依存性を示す特性図。

【図3】 $\text{Co}_{0.2} \text{Fe}_{2.2} \text{Al}_{1.7} \text{O}_{1.8}$  膜の透磁率の周波数依存性を示す特性図。

【図4】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z}$  ( $\text{A}_{1.25} \text{O}_{0.75}$ ) ( $y+z$ ) 膜のBsと( $\text{Al}-\text{O}$ )濃度との関係を示す特性図。

【図5】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z}$  ( $\text{A}_{1.25} \text{O}_{0.75}$ ) ( $y+z$ ) 膜のpと( $\text{Al}-\text{O}$ )濃度との関係を示す特性図。

【図6】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z}$  ( $\text{A}_{1.25} \text{O}_{0.75}$ ) ( $y+z$ ) 膜のHcと( $\text{Al}-\text{O}$ )濃度との関係を示す特性図。

【図7】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z}$  ( $\text{A}_{1.25} \text{O}_{0.75}$ ) ( $y+z$ ) 膜のHkと( $\text{Al}-\text{O}$ )濃度との関係を示す特性図。

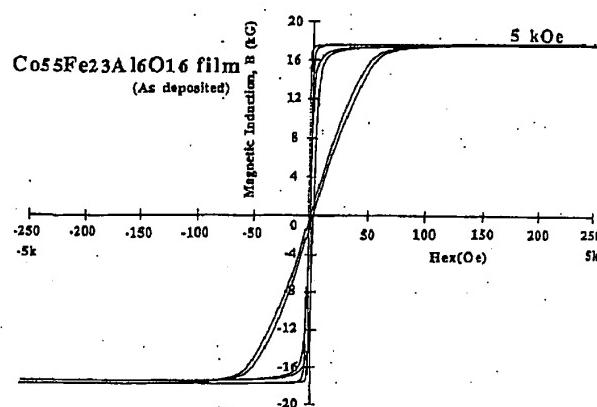
【図8】 $\text{Al}$ 濃度を変えて作製した $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z} \text{Al}_y \text{O}_z$  膜と $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z} \text{Al}_y$  膜とのX線回折图形。

【図9】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z} \text{Al}_y \text{O}_z$  膜と $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z} \text{Al}_y$  膜のX線回折图形から求めた結晶粒径と $\text{Al}$ 濃度との関係を示す特性図。

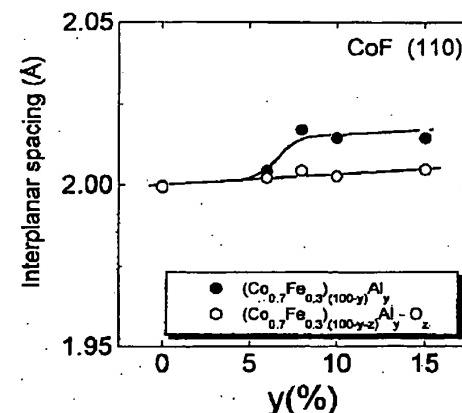
【図10】 $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z} \text{Al}_y \text{O}_z$  膜と $(\text{Co}, \text{Fe}, \text{s})_{1.00-y-z} \text{Al}_y$  膜のX線回折图形から求めた面間隔と $\text{Al}$ 濃度との関係を示す特性図。

【図11】本発明膜 $(\text{Co}_{0.5} \text{Fe}_{2.5} \text{Al}_{1.6} \text{O}_{1.8})$ とFe-Ta-N膜の計算から求めた透磁率と性能指数の周波数依存性を示す特性図。

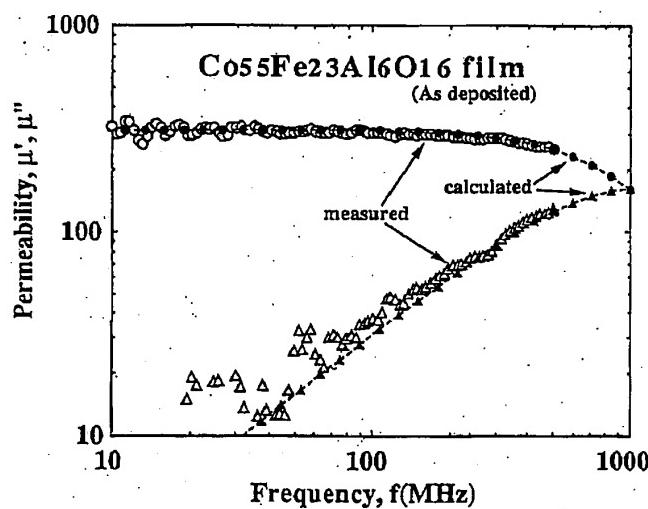
[図1]



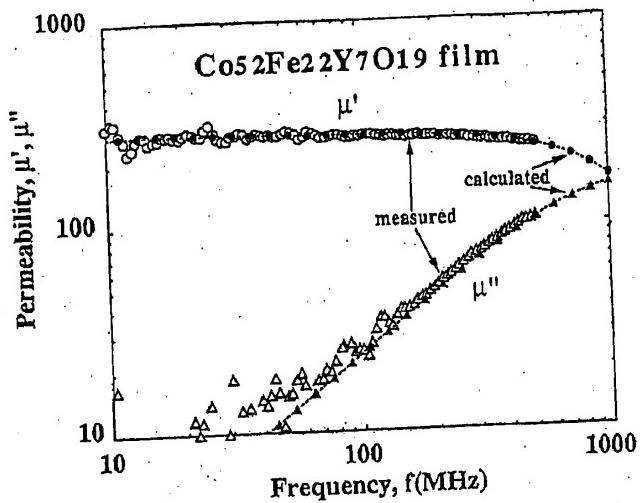
[図10]



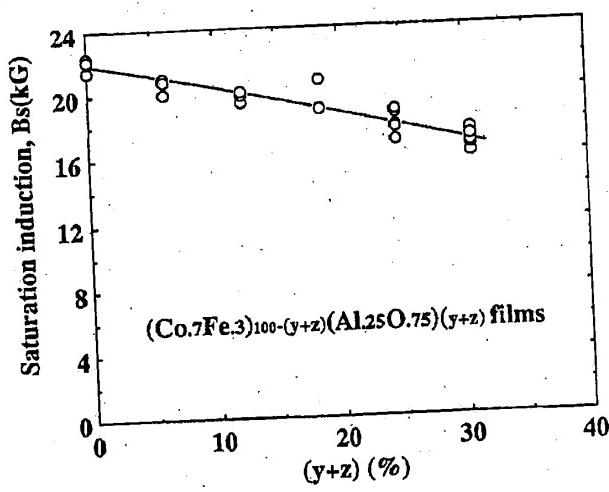
[図2]



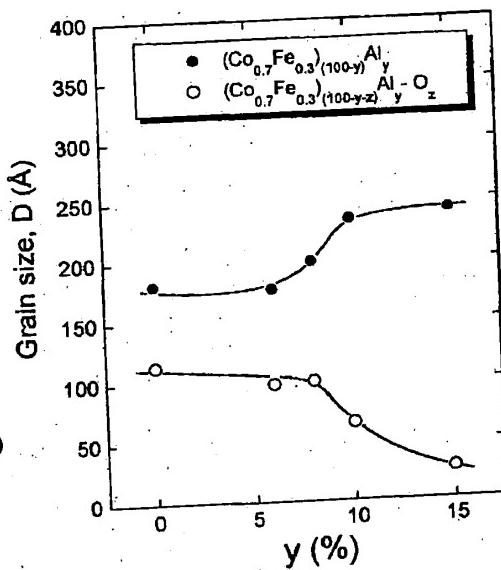
[図3]



[図4]

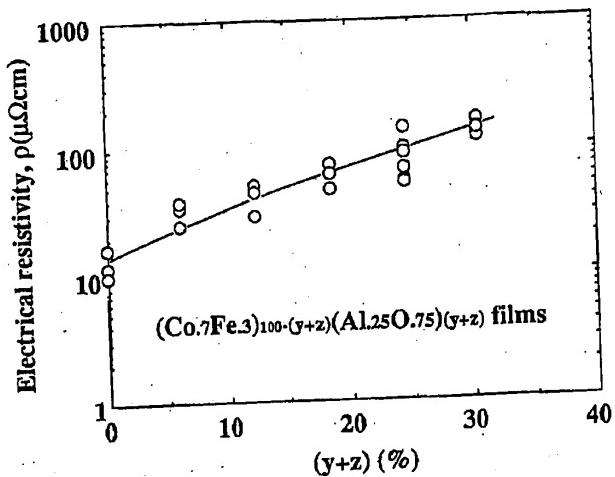


[図9]

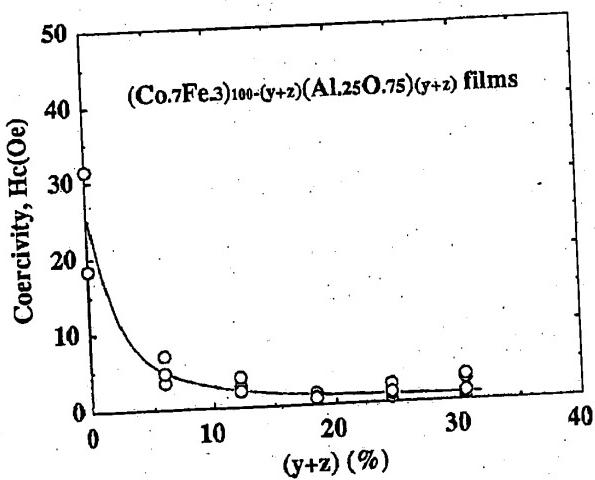


(10)

【図5】

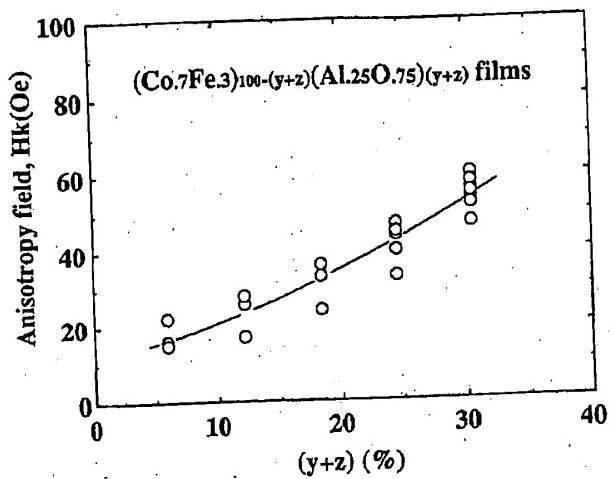


【図6】

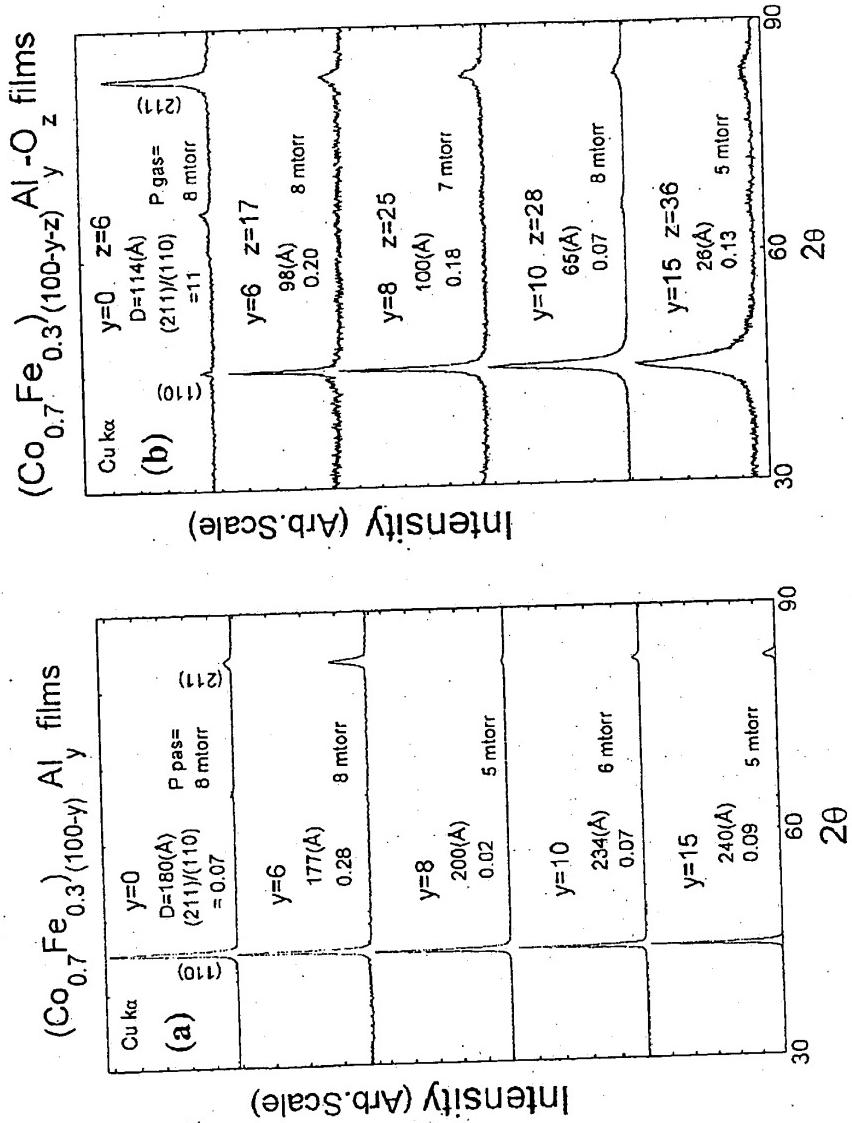


(11)

【図7】



【図8】



【図11】

